

УДК621.38

АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ПОТУЖНИХ СВІТЛОДІОДІВ

Руденко Н.М., Гурба О.В.

З появою потужних і мініатюрних світловипромінюючих структур постало актуальним питання про забезпечення ефективного теплового режиму їх роботи, оскільки збільшення величини струму через кристал веде до його нагрівання. Дана робота присвячена аналізу конструктивних рішень, які забезпечують нормальну роботу світлодіоду в умовах встановлених виробником. Як відомо, частина підведеної потужності до світлодіодного пристрою розсіюється в вигляді тепла, що підвищує температуру внутрішньої області структури. Тому ключовим моментом при цьому є вимірювання температури активної області напівпровідникової структури (*p-n* переходу).

Опис світлодіодного пристрою тепловою схемою

Основним та визначальним параметром при теплових розрахунках є температура *p-n* переходу світлодіоду $T_{p-n \text{ перехід}}$, яку вимірюють в лабораторних умовах відомими методами [1,2]. Ця температура не може перевищувати максимально допустиму $T_{\text{макс}}$, К, бо навіть при короточасному її перевищенні в напівпровіднику відбуваються процеси, що ведуть до неправильного функціонування, а надалі і до виходу з ладу світлодіоду. Температура $T_{p-n \text{ перехід}}$ зв'язана з температурою навколишнього середовища $T_{\text{середовище}}$ виразом:

$$T_{p-n \text{ перехід}} = T_{\text{середовище}} + P \cdot R_{\Sigma}, \quad (1)$$

де P – споживана потужність світлодіоду, Вт; R_{Σ} – тепловий опір між переходом і середовищем, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. З наведеної формули видно, що підвищення $T_{\text{середовище}}$ та P призводить до збільшення, а низький тепловий опір R_{Σ} до зменшення температури переходу при заданих умовах роботи. Тому розвиток технології виготовлення світлодіодів, з яким пов'язані проблеми як підвищення світловіддачі, так і відводу тепла, обумовлюється використанням матеріалів з низькими тепловими опорами та використанням відповідних конструктивних рішень.

Тепловий розрахунок світлодіоду (або пристрою на їх основі - світлодіодного пристрою) є чи не найважливішим етапом проектування і неможливий без наявності визначених теплових параметрів, що встановлюють взаємозв'язок між потужністю, яка розсіюється конструкцією, та температурою відповідних частин пристрою. Для аналізу теплового режиму з урахуванням (по-можливості) більшості теплофізичних процесів, що протікають у світлодіоді, нами використано метод теплових опорів, для чого побудовано відповідну електротеплову модель у вигляді наведеної на

рис. 1(а,б) схеми. Модель характеризує найбільш поширену конструкцію світлодіодного пристрою, де тепло розсіюється в навколишнє середовище, проходячи від переходу через друковану плату до радіатора. Видно, що світлодіод представлений чотирма ділянками кожна з яких характеризується своїм тепловим опором. R_{n-k} – тепловий опір між $p-n$ переходом та корпусом світлодіоду (вказується в документації на світлодіод) і визначається внутрішньою конструкцією та матеріалом напівпровідникового пристрою, $^{\circ}C/W$ (для світлодіодів різних виробників ця величина коливається від $6^{\circ}C/W$ до $12^{\circ}C/W$ [2]). R_{k-n} – тепловий опір між корпусом і платою, визначається якістю теплового контакту між ними (пайка, теплопровідні клеї, пасти тощо); $R_{плата-радіатор}$ – тепловий опір між платою і радіатором і визначається способом контакту їх між собою. Хороший тепловий контакт забезпечується теплопровідними клеями, пастами чи прокладками з більш високою теплопровідністю чим у повітря.

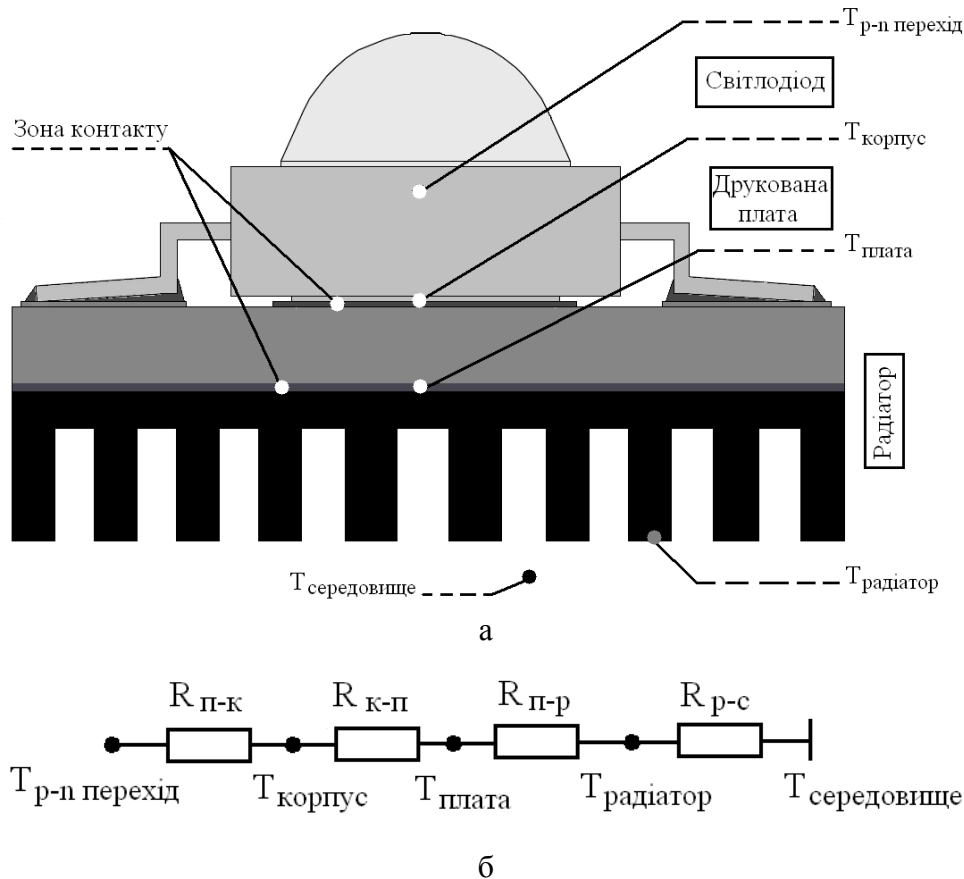


Рис.1. Схематичне зображення світлодіоду (а) і його теплова схема (б).

R_{p-c} – тепловий опір між радіатором та навколишнім середовищем і залежить від спроектованого конструктором радіатора, $^{\circ}C/W$.

Для відведення тепла від активної області потужного світлодіоду, та розсіювання його в навколишнє середовище нами використано друковану плату з наскрізними металізованими отворами та радіатор (див. рис. 2а). Двостороння друкована плата з текстоліту має металізовану мідну площа-

дку для пайки та наскрізні отвори діаметром 0,5 мм, які передають теплову енергію від верхньої (де саме і встановлено світлодіод) до нижньої сторони плати, що з'єднується з радіатором. Плата з наскрізними отворами потребує більш товстого шару металізації, а саме 70 мкм замість широкоживаних 35 мкм. Монтаж радіатору виконувався за допомогою теплопровідного клею з додатковим кріпленням гвинтами.

Як показали проведені дослідження, ефективним та чи не найпростішим розв'язанням задачі відведення тепла, є застосування структури поданої на рис. 2б. Плата являє собою алюмінієву пластину товщиною від 1,5 до 2 мм з шаром діелектрика (75...300) мкм (теплопровідність коливається від 0,5 до 5 Вт/(м·К)), що являє собою склотканину просочену епоксидними смолами, на який нанесений шар мідної фольги товщиною 35 мкм (виключно для утворення струмоведучих доріжок). Від плати тепло передається через шар теплопровідного матеріалу радіатору, розміри якого відповідають розміру металічної пластини.

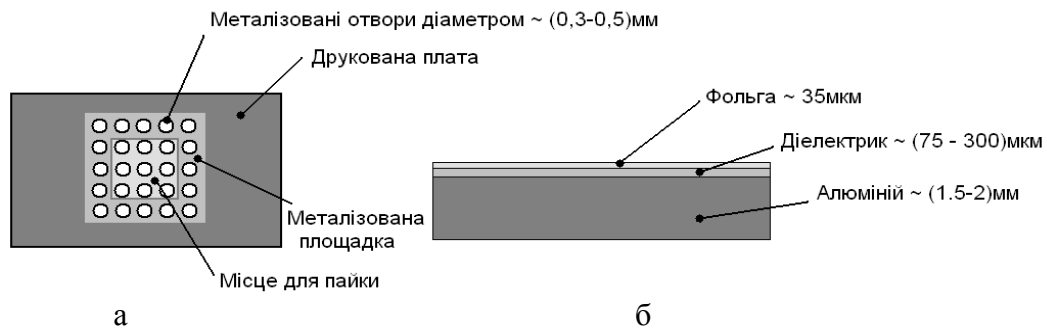


Рис.2. Схематичне зображення друкованої плати з наскрізними отворами (а) та фольгованої алюмінієвої плати (б).

Досліджувались потужні світлодіоди DORADO з представленими видами монтажу. Метою експерименту було вимірювання температури плати при тривалій роботі світлодіоду. Отримані такі значення температури:

- 76,6°C – металізована друкована плата;
- 75,5°C – друкована плата з наскрізними отворами;
- 84,8°C – плата з фольгованого алюмінію.

Встановлено, що за рахунок наявності та збільшення металізованих отворів можна суттєво зменшити тепловий опір між платою і навколишнім середовищем але не суттєво покращити тепловідвід у порівнянні з платою з фольгованого алюмінію.

Конструювання чи вибір із стандартного ряду радіаторів, що пропонуються на ринку, можна здійснити на підставі відомих емпіричних методів розрахунку за умов максимальної теплової ефективності, технологічних, вартісних та інших показників. При цьому ефективним є використання спеціальних програм, наприклад *QLED*, за допомогою яких можна проаналізувати та оцінити ефективність прийнятих рішень щодо забезпечення те-

плогового режиму пристроїв. На сьогодні широко використовують алюмінієві (голчасті і ребристі) та керамічні радіатори для діодів потужністю до 15 Вт. Для більш потужних світлодіодів (15...30 Вт) додатково використовують вентилятори чи струминну технологію обдування радіатора (наприклад такі, що розроблені і впроваджені компанією Nuventix). Для найбільш потужних світлодіодів (десятки і сотні ват) застосовують рідинну систему охолодження. Світлодіоди потужністю менше 0,5 Вт монтують просто на текстолітову друковану плату.

Порядок і приклад розрахунку теплового режиму потужних світлодіодів

1. Умови роботи:

- максимальна робоча температура середовища - $T_{\text{середовище}}, ^\circ\text{C}$.
- потужність, що розсіюється на світлодіодному пристрої, Вт:

$$P = I \cdot U,$$

де I - струм, що проходить через світлодіод, A , U - напруга на світлодіодній структурі, V . Для групи світлодіодів: $P = n \cdot I \cdot U$, де n - кількість світлодіодів.

2. Теплові дані світлодіоду:

- максимальна допустима температура p - n переходу – $T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$.
- тепловий опір $R_{\text{перехід-середовище}}$ (заданий в документації на світлодіод).

3. Визначимо температуру p - n переходу $T_{p-n \text{ переходу}}$, виходячи з умов роботи та теплових даних світлодіоду, за формулою:

$$T_{p-n \text{ перехід}} = T_{\text{середовище}} + P \cdot R_{\text{перехід-середовище}}.$$

4. Робимо висновок про доцільність застосування тепловідводу в заданих умовах:

- 1) $T_{p-n \text{ переходу}} > T_{\text{макс}}$ – потрібно використати радіатор;
- 2) $T_{p-n \text{ переходу}} < T_{\text{макс}}$ – пристрій працює в заданих умовах без застосування радіатора.

5. Проектуємо радіатор згідно відомих емпіричних формул, наприклад, приведених в [3], виходячи із максимально допустимого теплового опору радіатор-середовище $R_{p-c \text{ доп.}}$. $R_{\text{радіатор-середовище}}$ визначається із формули температури p - n переходу (1), де R_{Σ} - сумарний тепловий опір, що визначається вже як: $R_{\Sigma} = R_{n-k} + R_{k-p} + R_{p-c}$. Тоді шукана величина:

$$R_{p-c \text{ доп.}} = ((T_{p-n \text{ переходу}} - T_{\text{середовище}})/P) - R_{n-k} - R_{k-p}.$$

Для групи світлодіодів:

$$R_{p-c \text{ доп.}} = ((T_{p-n \text{ переходу}} - T_{\text{середовище}})/n \cdot P) - R_{n-k}/n - R_{k-p}/n.$$

Радіатор проектується згідно умови: $R_{p-c \text{ доп.}} < R_{p-c \text{ проект.}}$, де $R_{p-c \text{ проект.}}$ – тепловий опір спроектованого радіатора. При виборі того чи іншого радіатора необхідно враховувати і його масо-габаритні розміри.

Як правило, виробники потужних світлодіодів монтують їх спочатку на друковану плату (наприклад, фольгована алюмінієва) і при необхідності встановлюють на додатковий тепловідвід (наприклад, алюмінієвий радіатор). При такій комбінації можливо підвищити струм через світлодіодну

структуру.

6. Перераховуємо температуру p - n переходу за формулою (2). При цьому нове значення температури $T_{p-n \text{ розрах.}}$ має задовольняти умові:

$$T_{p-n \text{ розрах.}} < T_{\text{макс.}}$$

Світлодіодний пристрій готовий до роботи в заданих умовах.

Звичайно, дані розрахунки мають відповідати реальному макету, вимірявши температуру переходу, щоб розробник впевнився в правильності застосування варіанту охолодження пристрою.

Для прикладу визначимо тепловий режим світлодіоду з приведеними нижче даними.

1. Умови роботи: $U=3.6 \text{ В}$, $I=700 \text{ мА}$, $P=2.52 \text{ Вт}$.

2. Теплові дані світлодіоду: $T_{\text{середовище}} = 40^\circ\text{C}$, $T_{\text{макс}} = 125^\circ\text{C}$, $R_{\text{перехід-середовище}} = 45 \text{ К/Вт}$.

3. $T_{p-n \text{ перехід}} = T_{\text{середовище}} + P \cdot R_{\text{перехід-середовище}} = 40 + 2.52 \cdot 45 \approx 153^\circ\text{C}$.

4. Так як $T_{p-n \text{ переходу}} > T_{\text{макс}}$, $153^\circ\text{C} > 125^\circ\text{C}$, то робимо висновок про необхідність використати радіатор. В нашому випадку, світлодіод монтується на фольговану алюмінієву плату з стандартним тепловим опором – 1.5 К/Вт , тепловий опір „корпус – плата” (площа контакту $\approx 32 \text{ мм}^2$, теплопровідність контактного матеріалу $= 2.6 \text{ Вт/(м·К)}$) $R_{\text{к-п}} = 1.2 \text{ К/Вт}$.

5. В якості радіатора скористаємося найпростішим варіантом: пластинчастим радіатором із алюмінію. Визначимо допустимий тепловий опір радіатор-середовище при заданих $R_{\text{н-к}} = 15 \text{ К/Вт}$, $R_{\text{п-р}} = 1.5 \text{ К/Вт}$:

$R_{\text{р-с доп}} = ((T_{p-n \text{ переходу}} - T_{\text{середовище}})/P) - R_{\text{н-к}} - R_{\text{к-п}} - R_{\text{п-р}} = ((125 - 40)/2.52 - 15 - 1.2 - 1.5 \approx 16 \text{ К/Вт}$. Площа такого радіатора $S = 500/14 \approx 36 \text{ см}^2$ [3]. Габаритні розміри такої пластини: $6 \times 6 \text{ см}$, товщина алюмінію – 2 мм . Бачимо, що для зменшення температури переходу світлодіода необхідно збільшувати розмір пластини. Звичайно, розміри радіатора треба мінімізувати в силу зменшення вартості та масо-габаритних параметрів конструкції, але сам радіатор не може бути менший за габаритні розміри світлодіоду чи їх групи. Тому ми вибрали радіатор виробника *Aavid Thermalloy* із алюмінію розміром: $26.97 \times 26.97 \times 31.75 \text{ мм}$ з потужністю розсіювання 3 Вт та тепловим опором 9.4 К/Вт .

6. Перерахована температура:

$T_{p-n \text{ розрах.}} = 40 + 2.52 \cdot (15 + 1.2 + 1.5 + 9.4) \approx 108^\circ\text{C}$. Перевіряємо умову:

$T_{p-n \text{ розрах.}} < T_{\text{макс.}}$, $108^\circ\text{C} < 125^\circ\text{C}$ - світлодіод задовольняє задані умови і розрахунок закінчено. Подальші кроки можуть слугувати тільки по зменшенню температури переходу, проектуючи чи вибравши із каталогу радіатор з меншим тепловим опором, чи застосувати комбінований метод із наявних способів тепловідведення (наприклад, алюмінієвий радіатор і вентилятор).

В статті розглянуто основні моменти забезпечення відведення тепла від

активної області потужних світлодіодів. Складений порядок і проведений розрахунок теплового режиму (як важливий етап проектування світлодіодної конструкції) за допомогою методу теплових опорів дає можливість правильно вибрати тепловий режим напівпровідникових світловипромінюючих структур. Результати проведеного аналізу слугуватимуть основою для дослідження теплових режимів як окремих світлодіодів різного конструктивного виконання, так і світлодіодних пристроїв, до складу яких входять десятки та сотні світлодіодів.

Література

1. Винокуров А. Тепловые режимы мощных светодиодов DORADO. Компоненты и технологии №5. - 2006.
2. Николаев Д., Феопентов А. Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП. Полупроводниковая светотехника №1. - 2010.
3. Скрипников Ю.Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов. М., "Энергия", 1973.

Руденко Н.М., Гурба О.В., Аналіз та розрахунок теплового режиму потужних світлодіодів. В статті розглянуті основні питання щодо відводу тепла від світлодіодного пристрою та приведено загальний порядок розрахунку теплового режиму потужних світлодіодів.

Ключові слова: світлодіод, температурний режим, теплова схема світлодіоду, радіатор, тепловий опір, p-n перехід.

Руденко Н.Н., Гурба А.В., Анализ и расчет теплового режима мощных светодиодов. В статье рассмотрены основные вопросы относительно отвода тепла от светодиодного устройства и приведен общий порядок расчета теплового режима мощных светодиодов.

Ключевые слова: светодиод, температурный режим, тепловая схема светодиода, радиатор, тепловое сопротивление, p-n переход.

Rydenko N., Gurba A. Analysis and calculation of the thermal mode of powerful light-emitting diodes. In the article were considered the questions of taken of the heat from light-emitting device and given common order of the calculation heat regime of the powerful light-emitting diodes.

Keywords: light-emitting diode, temperature condition, thermal chart of light-emitting diode, radiator, thermal resistance, p-n transition.